

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-176853

(43)Date of publication of application : 29.06.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065
C23C 16/505
H01L 21/31
// H05H 1/46

(21)Application number : 11-356988

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 16.12.1999

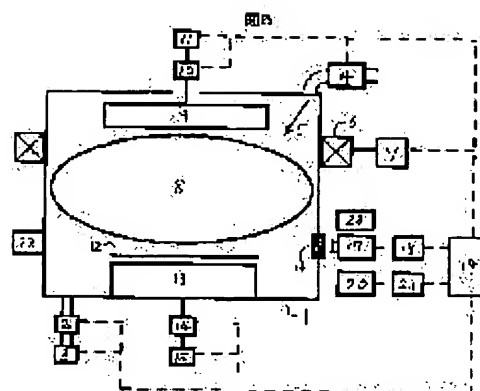
(72)Inventor : YANO TASUKU
TANAKA JUNICHI

(54) PLASMA PROCESSING SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plasma processing system, having the function for predicting modification of plasma generating conditions by detecting variation in the molecular density of dissociated active species.

SOLUTION: Emission of light from dissociated active species in plasma is measured, using means for measuring the emission intensity of plasma, an index indicative of dissociation of projected gas is determined from emission intensity and plasma generating conditions are controlled based on the index. Extended concept of temperature in an equilibrium system or the results of multiplication or division of the emission intensity for three or more wavelengths is employed as the index.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-176853

(P2001-176853A)

(43) 公開日 平成13年6月29日 (2001.6.29)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/3065

C 2 3 C 16/505

4 K 0 3 0

C 2 3 C 16/505

H 0 1 L 21/31

C 5 F 0 0 4

H 0 1 L 21/31

H 0 5 H 1/46

A 5 F 0 4 5

// H 0 5 H 1/46

H 0 1 L 21/302

E

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平11-356988

(22) 出願日

平成11年12月16日 (1999.12.16)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 矢野 資

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日

立製作所機械研究所内

(72) 発明者 田中 潤一

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日

立製作所機械研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

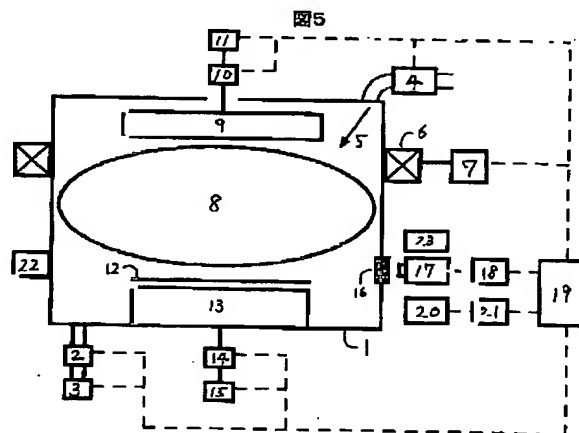
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】プラズマ中の解離活性種分子の密度の変化を検知し、プラズマを発生させる条件をどのように変更すればよいかを予測する機能を備えたプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】プラズマの発光強度を測定する手段を用いて、プラズマ中の解離活性種からの発光を計測し、発光強度から投入ガスの解離を表す指標を求め、前記指標に基づいて、プラズマ発生条件を制御する。前記指標としては、平衡系における温度の概念を拡張したもの、または、三以上の波長の発光強度の乗算または除算の結果を用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】プラズマを用いて半導体薄膜の加工を制御する装置において、プラズマの発光強度を測定する手段を備え、前記測定手段の出力を用いて投入ガスの解離を表す指標を求め、前記指標に基づいて、プラズマ発生条件を制御することを特徴とするプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマを利用して半導体装置を作成する方法(プラズマ処理方法)と、プラズマ処理によって半導体装置を製造する装置(半導体製造装置)に関するものであって、基板表面を取り除く工程(ドライエッチング)や、基板表面に膜を生成する工程(成膜)に利用されるものである。

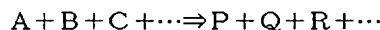
【0002】

【従来の技術】プラズマ中の解離活性種分子の中には固有の波長で発光するものがある。そこで、特開平5-9728号公報では薄膜形成工程中に、プラズマからの放射光をその場観察して膜質の予測を行っている。また、特開平8-330278号公報には、 CF_2 とFからの発光強度比を一定になるようにプラズマの生成条件を調整してドライエッチングを行う方法が示されている。

【0003】一方、プラズマの電気的特性に基づく制御方法もある。特開平10-125660号公報には、予め予備実験を行い、電気信号とプラズマ処理特性を関連づけるモデル式を求めて記憶しておき、エッチング中に電気信号の値をモデル式に代入してプラズマ処理特性を予測しプラズマの生成条件を制御する方法が示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】特開平5-9728号公報の方法では膜質の予測はできるが、所定の膜質の膜を得るためにどのようにプラズマ発生条件(投入電力・ガス流量)を制御するかが示されていない。特開平8-330278号公報の方法も CF_2 とFからの発光強度比を一定にすることが述べられているが、発光強度比が変化した場合にどのようにプラズマ発生条件を制御するか述べられていない。これらの公知例ではプラズマ処理特性の変化



に対しては、質量作用の法則は、

【0012】

$$\frac{(P)(Q)(R)\cdots}{(A)(B)(C)\cdots} = \frac{Q_P Q_Q Q_R \cdots}{Q_A Q_B Q_C \cdots} \exp \left(\frac{-\Delta E(A+B+C+\cdots \Rightarrow P+Q+R+\cdots)}{k T_r (A+B+C+\cdots \Rightarrow P+Q+R+\cdots)} \right) \quad \cdots (化2)$$

【0013】となる。ここで、 $[A]$ 、 $[B]$ 、 $[C]$ 、 \dots 、 $[P]$ 、 $[Q]$ 、 $[R]$ 、 \dots は、それぞれ、各分子A、B、C、 \dots 、P、Q、R、 \dots の密度であり、 Q_A 、 Q_B 、 Q_C 、 \dots 、 Q_P 、 Q_Q 、 Q_R 、 \dots は、それぞれ、A、B、C、 \dots 、P、Q、R、 \dots の分子分配関数である。また、 $-\Delta E(A+B+C+\cdots \Rightarrow P+Q+R+\cdots)$ は、この

を検知し、変化した量を基に戻すことを示している。

【0005】しかし、プラズマを発生させる条件をどのように変更すればよいかは記述していない。また、直接観測した量に基づいた制御を行っているだけである。例えば CF_2 / F発光強度比を計測して、 CF_2 / F発光強度比を制御している。しかし、発光では観測できない多種類の解離活性種分子がプラズマ中に存在しているので、それらに基づく制御が上記の方法ではできない。

【0006】また、特開平10-125660号公報は電気信号に基づく制御であって、プラズマ中の解離活性種分子やその発光に基づく方法ではない。そのため、解離活性種分子の密度がどのように変化しているかを知ることができない。

【0007】そこで、プラズマ中の解離活性種分子の密度の変化を検知し、プラズマを発生させる条件をどのように変更すればよいかを予測することが、本発明が解決しようとする課題である。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためにプラズマからの発光強度を測定し、プラズマ中の原料ガスの解離を表す指標を求め、ガスの解離を表す指標に基づいて、プラズマ発生条件を制御する。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明ではプラズマ中の投入ガスの解離を示す指標を用いて、プラズマ発生条件を制御する。この投入ガスの解離を示す指標としては、通常の反応ガス中で定義される温度の概念を拡張した指標(反応温度)、または、反応温度と対応のとれる発光強度の積や商を用いる。さらに、この指標を用いてプラズマ発生条件の制御に用いる。

【0010】初めにプラズマ中での反応温度の計算方法を述べる。通常の高温ガス中では、温度と気相中の分子の密度の間には、質量作用の法則が成り立つ(Vincent i, Introduction to Physical Gas Dynamics)。下記の反応、

【0011】

【化1】

$\cdots (化1)$

【化2】

反応の反応エネルギーである。また、 $T_r(A+B+C+\cdots \Rightarrow P+Q+R+\cdots)$ は、この反応に対する温度であり、本願では反応温度と呼ぶ。さらに、 k はボルツマン定数である。

【0014】プラズマに限らず気体中の分子は並進・回転・振動運動をしており、それぞれの運動に対して温度を定めることができる。通常の高温のガスでは、各種類

の分子の並進温度 (T_x^{trans}), 回転温度 (T_x^{rot}), 振動温度 (T_x^{vib}), 各反応の反応温度 (T_r) は同一とみなすことができる。

【0015】しかし、プラズマ中では極めて温度の高い電子が多数存在しているために全ての反応が非平衡に起こっており、上記の各温度がかならずしも一致しているとは限らない。従って、プラズマ中では並進温度 (T_x^{trans}), 回転温度 (T_x^{rot}), 振動温度 (T_x^{vib}), 反応温度 (T_r) が異なる値を持つとして取り扱う。特に、プラズマ中の解離活性種分子を含む各反応がそれぞれ固有の反応温度を持つ。但し、これらの温度のうち幾つかは同じ温度として取り扱っても良いことがある。

【0016】例えば、図1に示すようにJournal of Vac

$$T_r(\text{CF}_2 \Rightarrow \text{CF} + \text{F}) = 0.8349 T_r(\text{CF}_3 \Rightarrow \text{CF}_2 + \text{F}) + 0.0071$$

(温度の単位はeV)

のような関係式をおくことができる。図2は $T_r(\text{CF}_3 \Rightarrow \text{CF}_2 + \text{F})$ を $T_r(\text{CF}_2 \Rightarrow \text{CF} + \text{F})$ に対してプロットしたものである。なお、 $T_x^{\text{trans}} = 0.03 \text{ eV}$, $Q_{\text{CF}_4}^{\text{rot}} = Q_{\text{CF}_3}^{\text{rot}} = Q_{\text{CF}_2}^{\text{rot}} = Q_{\text{CF}}^{\text{rot}}$ としている。また、全ての反応エネルギーは5eVとしている。

【0018】本発明の第一の実施例を説明する。酸化膜をエッチングする場合、 CF_2 が酸化膜をエッチングするので、 CF_2 密度を最大にしたい場合がある。しかし、 CF_2 密度は投入電力に対して、単調に増加したり減少したりするわけではないので、 CF_2 密度を制御することは困難である。例えば図3に示すように、 CF_2 密度を投入電力に対してプロットすると上に凸になることがある。これは投入電力が足りないと CF_2 の生成が少なく、投入電力が多すぎると生成した CF_2 が分解して減少してしまう ($\text{CF}_2 \Rightarrow \text{CF} + \text{F}$) ためである。

【0019】多数のウエハをプラズマ処理装置で処理すると、チャンバ内にさまざまなものが付着する。例えば、CF系のプラズマではCF系の膜が生成する。このため、投入電力などのプラズマ発生条件と解離活性種分子密度の関係は変化する(経時変化)。また、他の制御機構を備えた装置では、プラズマの状態を表す数値のうち解離活性種分子密度以外のものが変化したために、制御機構がプラズマ発生条件を変更してしまい、結果として投入電力と CF_2 密度の関係が変わってしまうこともある。例えば、プラズマの分布の均一性を維持するために、磁場発生用のコイルの電流を制御機構が変更してしまい、投入電力と CF_2 密度の関係が変わってしまうことがある。

【0020】 CF_2 密度を最大にする投入電力で多数のウエハをエッチングする場合を考える。多数のウエハを処理すると経時変化や他の制御機構により、投入電力と CF_2 密度の関係が変わってしまう。事前に CF_2 / F 発光強度比と密度比の関係を調べておけば、 CF_2 / F 密度比の変化は検出できる。しかし、 CF_2 の密度は分か

uum Science and Technology A, vol. 14, 2343 (1996) で述べられている CF_4 のECRプラズマでは、全ての反応温度を同じとおくことができる。図1は $T_r(\text{CF}_4 \Rightarrow \text{CF}_3 + \text{F})$ と $T_r(\text{CF}_3 \Rightarrow \text{CF}_2 + \text{F})$ を投入電力に対してプロットしたものである。また、各反応温度の間に関係式がなりたつ場合もある。例えば、プラズマ・核融合学会誌第75巻第7号(1999年7月号)785ページに示される C_4F_8 プラズマでは、図2に示すように $T_r(\text{CF}_3 \Rightarrow \text{CF}_2 + \text{F})$ と $T_r(\text{CF}_2 \Rightarrow \text{CF} + \text{F})$ の間に

【0017】

【化3】

…(化3)

らない。さらに、 CF_2 密度を投入電力に対してプロットすると上に凸になっているので、 CF_2 密度が低下したことは分かっても、 CF_2 密度を最大にする投入電力が、図4(a)に示すように大電力にずれたのか、図4(b)に示すように小電力にずれたのか区別できない。つまり、投入電力と CF_2 密度の関係が変わってしまうと、 CF_2 密度の低下を検知しても投入電力を増やすべきなのか減らすべきなのか判断できない。

【0021】酸化膜をエッチングする場合の投入ガス(エッチングガス)としては C_4F_8 , C_5F_8 , CF_4 などを含む混合ガスが用いられる。例えば、 $\text{Ar}/\text{C}_4\text{F}_8/\text{O}_2$ の混合ガスである。本実施例では説明を簡単にするため CF_4 と Ar の混合ガスをエッチングガスとし、 CF_4 プラズマ中の解離活性種分子としては CF_3 , CF_2 , CF , C , F を考える。

【0022】酸化膜をエッチングする場合、 CF_2 が酸化膜をエッチングするので、 CF_2 密度を最大値に維持することが望ましい場合がある。プラズマを発生させる条件(プラズマ発生条件)としては投入電力、全圧、各ガス流量などが考えられるが、ここでは投入電力を制御する場合を考える。制御の方法としては、 CF_2 の密度が最大値から5%以内から外れた場合に10W間隔で投入電力を増減する方法を挙げる。

【0023】図5は本発明を適用した酸化膜プラズマエッチング装置である。

【0024】プラズマエッチングを行うための真空チャンバ1は、チャンバ内の圧力を調節するためのバルブ2を経由して、排気を行うための真空ポンプ3に接続されている。また、流量制御器4を通じて一定の流量で、 CF_4 を含むエッチングガス5(投入ガスとも記述する)が、真空チャンバ1内に供給される。

【0025】真空チャンバ1には磁場発生用のコイル6が設けられ、コイル6は直流電源7から直流電流が供給される。プラズマ8を発生させるために、アンテナ9に

は整合器10を通じて高周波電源11から高周波電力が印加される。真空チャンバ1内には、ウェハ12を置くための下部電極13が設けられている。下部電極13はバイアス用整合器14を通じてバイアス用電源15に接続され、バイアス電圧が印加される。

【0026】真空チャンバ1には石英窓16と発光を分析するための発光分析器17は、発光スペクトルと発光強度から反応温度を計算する反応温度計算用コンピュータ18に接続されている。反応温度計算用コンピュータ18は制御用コンピュータ19に接続されていて制御用コンピュータ19は高周波電源11、流量制御器4、バルブ2を制御している。反応温度計算用コンピュータ18と制御用コンピュータ19は、一体型のものであって

$$\frac{(CF_2)}{(CF)} = K_1 \frac{I(CF_2)}{I(CF)} \cdot \frac{(CF_2)}{(F)} = K_2 \frac{I(CF_2)}{I(F)} \quad \dots (化4)$$

【0029】ここで、 $I(X)$ は解離活性種分子Xに固有の波長の発光強度であり、分光器で測定する。なお、 CF_2 に固有な波長としては、271.1nmと280.0nmを挙げることができ、CFでは207.9nmと230.5nmでは、Fでは685.6nmと690.3nmを挙げることができる。ここでは各解離活性種分子に固有な波長のうち代表的なものを挙げたが、各解離活性種分子に固有な波長は数多くあり、どの解離活性種分子の発光であるかが特定できる波長のものであれば他の波長で代用することができる。また、 CF_2 とCFの密度((CF_2) , (CF))は赤外線半導体レーザー吸収スペクトル(IRLAS)で測定し、Fの密度は、FとArの

もよい。また、他の計測器20からの信号に基づく制御をあわせて行うための他のコンピュータ21を含めて一体になっていてもよい。事前実験の際に用いる赤外半導体レーザー22と赤外分光器23も取り付けられている。

【0027】まず事前実験において、解離活性種分子である CF_2 、CF、Fの密度比と発光強度比の関係を求める。そのためには、実エッチングのプラズマ発生条件に近い複数のプラズマ発生条件で、 CF_2 、CF、Fの発光強度と密度を測定し、以下の式の K_1 、 K_2 を求める。

【0028】

【化4】

発光強度の比からアクチノメトリ方によって求める。アクチノメトリ法に関してはPlasma Source Science and Technologyの3巻1554ページ(1994年)に述べられている。

【0030】エッチングを開始する前にプラズマ中の解離活性種分子の密度と反応温度の関係を求める。 CF_4 のプラズマの解離活性種分子として、 CF_3 、 CF_2 、CF、Fを考える場合、プラズマ中の全ての分子の密度の合計と全圧の関係は、

【0031】

【化5】

$$(CF_4) + (CF_3) + (CF_2) + (CF) + (F) = \frac{P N_A}{R T} \quad \dots (化5)$$

【0032】となる。ここで、 (X) はプラズマ発生時の分子Xの密度を表す。なお、イオンの数は中性分子の数に比べて少ないので無視している。

【0033】単位体積あたりのプラズマ中の各元素の数

$$\frac{1}{(CF_4) + (CF_3) + (CF_2) + (CF)} = \frac{4}{4(CF_4) + 3(CF_3) + 2(CF_2) + (CF) + (F)} \quad \dots (化6)$$

【0035】である。

【0037】

【0036】質量作用の法則に基づいて以下の式が成り立つ。

【化7】

$$\frac{(CF_3)(F)}{(CF_4)} = \frac{Q_{CF_3} Q_F}{Q_{CF_4}} \exp \left(\frac{-\Delta E(CF_4 \Rightarrow CF_3 + F)}{k T_r (CF_4 \Rightarrow CF_3 + F)} \right) \quad \dots (化7)$$

【0038】

【化8】

$$\frac{(CF_2)(F)}{(CF_3)} = \frac{Q_{CF_2} Q_F}{Q_{CF_3}} \exp \left(\frac{-\Delta E(CF_3 \Rightarrow CF_2 + F)}{k T_r (CF_3 \Rightarrow CF_2 + F)} \right) \quad \dots (化8)$$

【0039】

【化9】

$$\frac{(CF)(F)}{(CF_2)} = \frac{Q_C Q_F}{Q_{CF_2}} \exp \left(\frac{-\Delta E(CF_2 \Rightarrow CF + F)}{k T_r (CF_2 \Rightarrow CF + F)} \right) \quad \dots (化9)$$

【0040】

【化10】

$$\frac{(C)(F)}{(CF)} = \frac{Q_C Q_F}{Q_{CF}} \exp \left(\frac{-\Delta E(CF \Rightarrow C + F)}{k T_r (CF \Rightarrow C + F)} \right) \quad \dots (化10)$$

【0041】反応温度を仮定して、式(化5)～(化10)を連立方程式として解くと、解離活性種分子の密度が求まる。複数の反応温度に対して解離活性種分子の密度を求めると、反応温度と解離活性種分子の密度の関係が求まる(温度密度関係)。この場合の温度密度関係は図6に示したものである。なお、図6では、各反応温度を異なるものとして扱っており、グラフの横軸の反応温度は $T_r(CF_2 \Rightarrow CF + F)$ である。

【0042】実エッチングを開始した後、発光分析器を用いてプラズマ中の解離活性種分子や投入ガスに固有な波長の発光強度に基づいて、プラズマ中の解離活性種分子と投入ガスの分子のうち、式(化4)に基づいて CF_2 、 CF 、 F の密度比を求める。

【0043】ここで、投入電力を一定にしているにも関わらず、経時変化や他のフィードバックループによる制御のために、 CF_2 密度が許容範囲、例えば5%以内より低下した場合を考える。

【0044】式(化4)を用いて発光強度比から求めた CF_2/F 密度比が許容範囲から外れた場合、 CF_2/F 密度比の他に、 CF_2/CF 密度比も式(化4)から求める。発光強度比から求めた $CF_2/CF/F$ の密度比と予め計算した密度比が一致する反応温度を温度密度関係から求める。密度比が一致する反応温度が見つからない場合、密度比が最も近くなる温度を求めればよい。

【0045】温度密度関係は全圧とガス流量で決まるので、経時変化や他の制御機構の影響を受けることはない。 CF_2 密度を最大にする反応温度とその時の反応温度を比較して、図4(a)に示すように反応温度が低下していれば、反応温度を上昇させるために投入電力を増加させればよい。逆に、図4(b)に示すように反応温度が上昇している場合には、投入電力を減少させればよい。

【0046】このように本実施例では、投入電力と CF_2 密度の関係がどちらに変化しても CF_2 密度が最大になるように制御することができる。

【0047】第一の実施例をまとめると図7のようになる。事前実験により、 CF_2/CF との発光強度比と密度比の関係を求める。また、 CF_2/F 発光強度比の関係も求める。そして、エッチング開始前に全圧とガス流量から温度密度関係を求める。

【0048】エッチング中に、 CF_2 、 CF 、 F の発光強度を計測し(S1)、発光強度比を計算する(S2)。そして、温度密度関係を用いて反応温度を求める

(S3)。

【0049】さらに、再度、温度密度関係を用いて反応温度から CF_2 密度を求める(S4)。

【0050】 CF_2 密度が許容範囲内であれば、プラズマ発生条件を変更する必要はない。しかし、 CF_2 密度が低下し許容範囲から外れていれば投入電力を増減させる。この時、反応温度が低下していれば投入電力を増加させ(S5a)、反応温度が上昇していれば投入電力を減少させる(S5b)。

【0051】第一の実施例の変形例を示す。これらの変形はこれから後に述べる実施例にも適用できる。

【0052】事前実験で密度比と発光強度の関係を求める際に、赤外半導体レーザー誘起分光法(IRLAS)により CF_2 と CF の密度を求め、密度から密度比を求める例を示した。しかし、密度比だけを求めてもよい。この場合、 CF_2 と CF の密度の絶対値を求める必要はない。

【0053】事前実験で密度比と発光強度の関係を求める際に、赤外半導体レーザー誘起分光法(IRLAS)とアクチノメトリ法を示したが、密度や密度比を求める方法は他の方法であってもよい。例えば、レーザー誘起蛍光法(LIF)、質量分析法(MS)、出現質量分析法(APMS)であってもよい。

【0054】投入ガスの解離を表す指標として反応温度を用いる例を示したが、 $I(CF)I(F)/I(CF_2)I(Ar)$ を、解離の指標とする事もできる場合もある。それは、 CF_2/F の発光強度比と密度比が比例し、アルゴンの密度の変化が無視できる場合である。この場合、 $I(CF)I(F)/I(CF_2)I(Ar)$ は $(CF)(F)/(CF_2)$ に比例し、式(化9)に示すように $(CF)(F)/(CF_2)$ は反応温度と対応しているためである。なお、 $I(CF)I(F)/I(CF_2)I(Ar)$ の値が大きいは反応温度が高いことを示す。

【0055】また、事前実験で、発光強度比と密度比の関係を求める例を示しているが、同種の複数のプラズマ処理装置を用いる場合には、全ての装置で事前実験を行う必要はない。この場合、事前実験を行わない装置では、密度や密度比を求めるための装置、例えば、すなわち赤外半導体レーザー22は不要である。さらに、発光強度比と密度比の関係をデータベースとしてコンピュータ内に記憶させておけば、事前実験は不要である。

【0056】事前実験によって、 CF_2/F の発光強度比と密度比の関係が分かる、また、アクチノメトリ法

(文献)によりArとFの発光強度比からFの密度が分かる。そのため、エッチング中にCF₂, CF, F, Arの発光強度を観測し、CF₂/CF発光強度比からCF₂/CF密度比(CF₂)/(CF)を求め、アクチノメトリ法によりF密度(F)を求めると、式(化9)を用いて反応温度を求めることができる。このようにエッチング中にCF₂, CF, F, Arの発光強度から反応温度を求めることもできる。この場合、エッチング前に温度密度関係を求める必要がない。

【0057】CF₂/CF/Fの発光強度比から、CF₂/CF/F密度比を求め、反応温度を求める例を示したが、CF₂/CFの発光強度比からCF₂/CF密度比から反応温度を求める場合がある。制御しようとしているプラズマ処理装置やプラズマ処理方法によって反応温度が変化する範囲は決まる。その範囲内でCF₂/CF密度比と反応温度が一对一に対応していればCF₂/CF発光強度比のみで反応温度を決めることができる。

【0058】さらに、CF₂/CF密度比だけで反応温度が定まる場合には、表面反応がF密度に与える影響を評価することができる。CF₂/CFの発光強度比から反応温度を求め、反応温度からF密度を求めることができる。ここで、プラズマエッチング装置のうち、表面反応を制御する手段を有するものを考える。例えば、チャンバ1内にシリコン表面を露出させ、そのシリコンにバイアス電圧を印加して、プラズマ中のFを減少させる手

$$(CF_4) + (CF_3) + (CF_2) + (CF) + (F) = \frac{PNA}{RT} \quad \dots (化5)$$

【0061】エッチング前に温度密度関係を求める例を示したが、温度密度関係を先に求める必然性はない。この場合、エッチング中に発光強度比から密度比を求める。その後、式(化4)と式(化5)から(化10)を連立して解けばよい。このようにすると温度密度関係をコンピュータに記憶させる必要はない。

【0062】温度密度関係を求める際に、各元素の比は投入ガスの比と同じであるとする例を示したが、事前実

$$A + B \Rightarrow P + Q$$

の形をしており、質量作用の式が、

【0065】

$$\frac{(P)(Q)}{(A)(B)} = \frac{Q_P Q_Q}{Q_A Q_B} \exp \left(\frac{-\Delta E(A+B \Rightarrow P+Q)}{k T_r (A+B \Rightarrow P+Q)} \right) \quad \dots (化12)$$

【0066】の形のように無次元で、二種類の密度比、

【0067】

$$\frac{(P)}{(A)} \cdot \frac{(Q)}{(B)} \quad \dots (化13)$$

【0068】が、発光強度比から求まる場合である。このような場合にも、エッチング前に温度密度関係を求める必要はない。

【0069】また、反応温度を上昇させるために投入電力を増加させる例を示したが、ガスの滞在時間を延長し

段を備えた装置を考える。エッチング中にCF₂/CF発光強度比を観測し、式(化4)を用いてCF₂/CF密度比を求め、反応温度を求める。さらに、反応温度からF密度(予測値)を求める。また、エッチング中にF/Ar発光強度比からF密度(実測値)を求める。そして、F密度の予測値と実測値を比較する。表面反応によりFが消費されていればF密度の実測値/予測値が小さくなるので、F密度の実測値/予測値によって表面反応を評価することができる。

【0059】さらに、この方法を簡略化することもできる。CF₂とCFとFの発光強度の関係を求めておいて表面反応によるFの消費を評価することもできる。この場合、事前実験では表面反応を制御する手段を稼働させずに、CF₂とCF発光強度からFの発光強度を求める表を作成する。そして、エッチング中にはCF₂とCFとFの発光強度を計測し、CF₂/CF発光強度比を求める。事前実験によって得られたCF₂/CF発光強度比とFの発光強度の関係をj用いてFの発光強度を予測する(予測値)。Fの発光強度の実測値と比較して、表面反応の影響を評価する。つまり、実測値/予測値が小さければ表面反応によってFが消費されていることが検知できる。

【0060】

【化5】

験に基づいて、各元素の比を決めてもよい。

【0063】また、質量作用の式の中に無次元のものがあり、その式に用いられる密度比が発光強度比と関連づけることができ、エッチング前に温度密度関係を求めることなく、エッチング中に反応温度を求めることができる。例えば、反応式が、

【0064】

【化11】

... (化11)

【化12】

【化13】

てもよい。滞在時間を延長するためには流量を減少させるか、チャンバの体積を増加させればよい。逆に、反応温度を低下させるためには、流量を増加させたり、チャンバの体積を減少させて、滞在時間を短縮すればよい。

【0070】第一の実施例のフローを図7に示した。し

かし、投入電力を変化させても（S5aまたはS5b）、反応温度が許容範囲内に入らない場合に、S1からS4のステップを繰り返してもよい。また、投入電力を変化させた際に反応温度が予期した通りに変化しない場合に、プラズマ処理を中止するようにしてもよい。例えば、反応温度を上昇させようとして投入電力を増加させたにもかかわらず、反応温度が下降した場合にプラズマ処理を中止するようにしてもよい。

【0071】第一の実施例の変形例を示したが、これらの変形はこれから後に述べる実施例にも適用できる。

【0072】本発明の第二の実施例を示す。第一の実施例では、 CF_2 密度を最大にする例を示したが、 CF_2 密度が高すぎてエッチングレートが低下する場合がある。そのため、 CF_2 密度を所定の値に維持することが望ましい場合がある。しかし、投入電力に対して CF_2 密度が単調に増加するわけではない。そのため、 CF_2 密度が変化した場合に投入電力を増加させるべきか減少させるべきかの判断ができない。そこで、 CF_2 密度を一定に維持する場合を第二の実施例として述べる。

【0073】まず、第一の実施例と同様の事前実験を行い、解離活性種分子である CF_2 、 CF 、 F の密度比と発光強度比の関係を求める。エッチング前には式(化5)から式(化10)を解き、温度密度関係を求める。さらに、エッチング中に発光強度比から式(化4)を用いて、密度比を求め、温度密度関係を用いて反応温度を求め、再び温度密度関係を用いて CF_2 密度を求める。

【0074】 CF_2 密度が許容範囲から外れた場合、反応温度が上昇したか下降したかを判断する。反応温度が上昇した場合には反応温度を下降させるために投入電力を減少させ、反応温度が降下した場合には反応温度を上昇させるために投入電力を増加させればよい。

【0075】第一の実施例として特定の解離活性種分子の密度を最大値に維持する例を示し、第二の実施例として特定の解離活性種分子の密度を所定の値に維持する例を示した。いずれの場合も反応温度を一定にするように制御すればよい。そのため、特定の値を最大に維持する方法は、特定の値を所定の値に維持する場合にも適用することができる。これは以降の実施例でも同様である。

【0076】第一・第二の実施例では CF_2 密度を最大または所定の値に制御する例を示したが、この方法は他の解離活性種分子にも適用できる。例えば、窒化膜をエッチングする場合、 CF_3 が窒化膜をエッチングするので(K. Miyata, H. Arai, T. Kuno, M. Hori, T. Goto, P. roceeding of Symposium on Dry Process, 129ページ)、 CF_3 密度を制御したい場合があるが、第一・第二の実施例で述べた方法で CF_3 を制御することができる。このように、本発明を適用すれば、エッチング中に直接には観測できない CF_3 密度に基づいて制御することもできる。

【0077】 CF_2 / F 密度比を最大に維持する方法を

第三の実施例として示す。すでに述べたように CF_2 / F 密度比を最大に維持する方法は、 CF_2 / F 密度比を一定にする場合にも適用できる。本実施例では CF_2 / F 密度比を最大に維持する方法を説明する。

【0078】シリコンを下地とする酸化膜をエッチングする場合、シリコンをエッチングすることなく酸化膜をエッチングすることが望ましい。 CF_2 は酸化膜をエッチングし F は下地シリコンをエッチングする。そこで、シリコンをエッチングせずに酸化膜だけを選択的にエッチングする（シリコンに対する酸化膜の選択比が高いエッチング）ためには、 CF_2 密度が大きく、 F 密度が小さいプラズマ発生条件でエッチングすることが望ましいことがある。しかし、図7に示すように CF_2 密度が投入電力に対して上に凸なので、 CF_2 / F 密度比もまた投入電力に対して上に凸である。そのため、 CF_2 / F 発光強度比から CF_2 / F 密度比の低下を検出できても、 CF_2 / F 密度比を上昇させるために投入電力を増加させるべきか減少させるべきか、判断できない。

【0079】第一・第二の実施例と同様に事前実験を行い、発光強度比と密度比の関係を求める。そして、エッチング前に温度密度関係を求める。

【0080】エッチング中に CF_2 / F 発光強度比から、 CF_2 / F 密度比を求める。

【0081】 CF_2 / F 密度比が許容範囲から外れていれば、 CF_2 / CF / F の発光強度比から、反応温度を求める。

【0082】反応温度が上昇していれば、反応温度を低下させるために投入電力を減少させ、反応温度が下降していれば、反応温度を上昇させるために投入電力を増加させる。

【0083】第三の実施例をまとめると図8のようになる。第一・第二の実施例と比べると第三の実施例では、 CF_2 / F 密度比が許容範囲から外れているときにだけ、反応温度を計算すればよい。

【0084】第一から第三の実施例では特定の解離活性種分子の密度や密度比を制御する例を示したが、最適なプラズマ発生条件の反応温度が分かっているならば、反応温度を維持するように制御してもよい。さらに、 $I(CF)I(F)/I(CF_2)I(Ar)$ を解離を示す指標として用いるのであれば、事前実験で最適なプラズマ発生条件の $I(CF)I(F)/I(CF_2)I(Ar)$ を求めておけばよい。

【0085】また、フロロカーボン系のプラズマを制御する例を示したが、他のプラズマであってもよい。例えば、CVDプロセスやチャンバのクリーニングプロセスであってもよい。シリコンのクリーニングプロセスでは、シリコン原子の密度やシリコン原子と他の解離活性種分子の密度比を制御することが有用である。

【0086】酸化膜と酸化膜エッチング用の投入ガスを例に挙げているが、エッチング対象は酸化膜に限らず、

ケイ素、アルミや銅などの金属、BSTなどの合金、ポリアリアルエーテルなどの有機物であってもよい。また、プラズマ中の解離活性種分子を利用したものであれば、 Cl_2 、 BCl_3 、 SF_6 などを利用したクリーニングプロセスであってもよい。

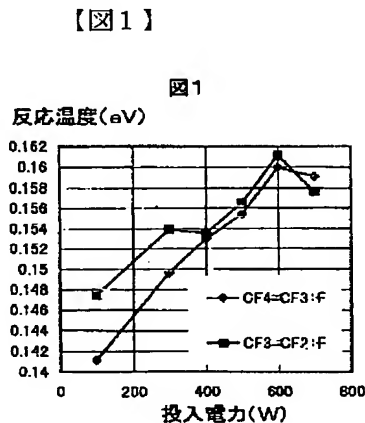
【0087】プラズマ処理の例として、エッチングプロセスを挙げたが、CVDなどの成膜プロセスであってもよい。例えば、ポリシリコンの薄膜を生成するCVDプロセスであれば、プラズマ中のSi原子が解離活性種分子となる。そのため、ポリシリコンの成膜プロセスではSi原子の密度を反応温度と関連付ければ、反応温度に基づいてプラズマ発生条件を制御することができる。

【0088】

【発明の効果】本発明を適用すると、プラズマ中の解離活性種分子の密度または密度比の変化を検出するとともに、プラズマ発生条件をどのように変更すべきかを予測し、プラズマ発生条件を変更する事ができる。また、 CF_3 のように発光で直接に観測することのできない解離活性種分子の密度を、プラズマの発光から予測し、その密度に基づいてプラズマ発生条件を制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 CF_4 プラズマの反応温度を示す特性図。



【図2】 C_4F_8 プラズマにおける反応温度の関係の例を示す特性図。

【図3】 CF_2 密度と投入電力の関係を示す特性図。

【図4】 CF_2 密度と投入電力の関係を示す特性図。

【図5】本発明を適用したプラズマ処理装置の例を示す図。

【図6】温度密度関係の例(CF_4 プラズマの場合)を示す特性図。

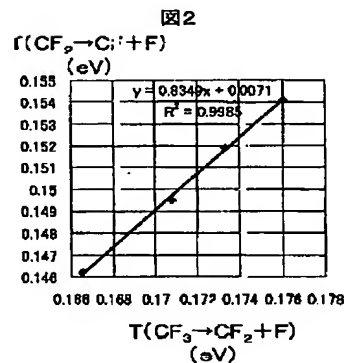
【図7】第一の実施例のである投入電力の増減を説明するフローチャート。

【図8】第三の実施例のである投入電力の増減を説明するフローチャート。

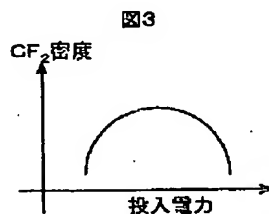
【符号の説明】

1…真空チャンバ、2…バルブ、3…真空ポンプ、4…流量制御器、5…エッチングガス、6…コイル、7…直流電源、8…プラズマ、9…アンテナ、10…整合器、11…高周波電源、12…ウエハ、13…下部電極、14…バイアス用整合器、15…バイアス用電源、16…石英窓、17…発光分析器、18…反応温度計算用コンピュータ、19…制御用コンピュータ、20…他の計測器、21…他のコンピュータ、22…赤外半導体レーザー、23…赤外分光器。

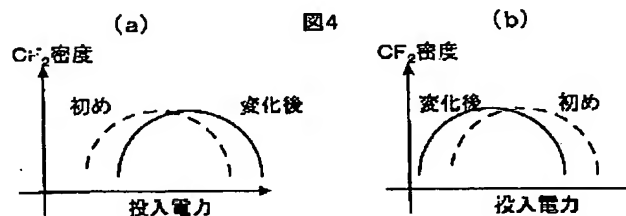
【図2】



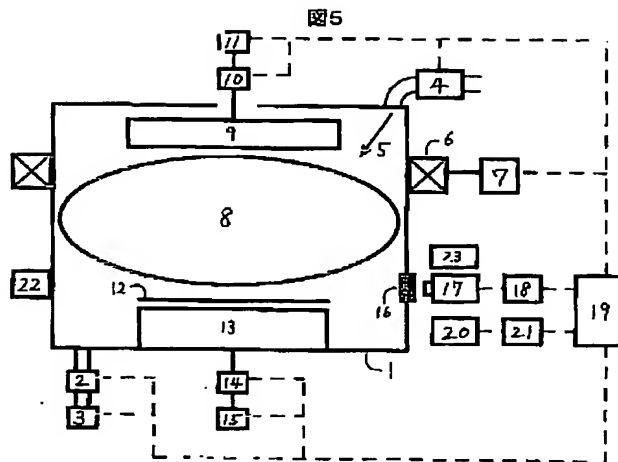
【図3】



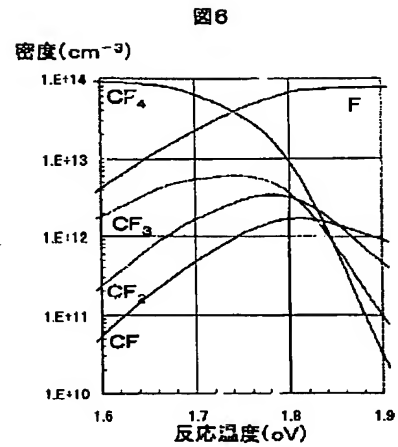
【図4】



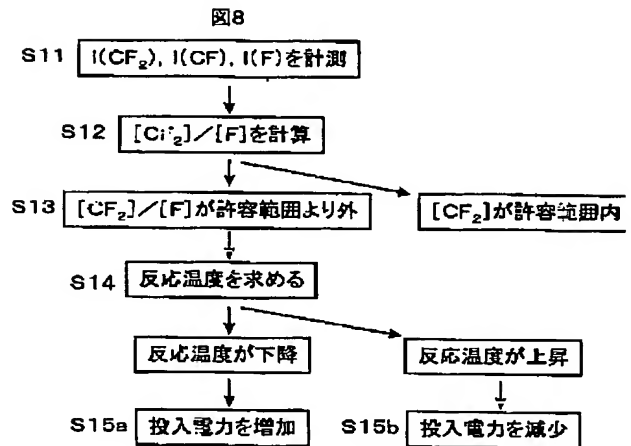
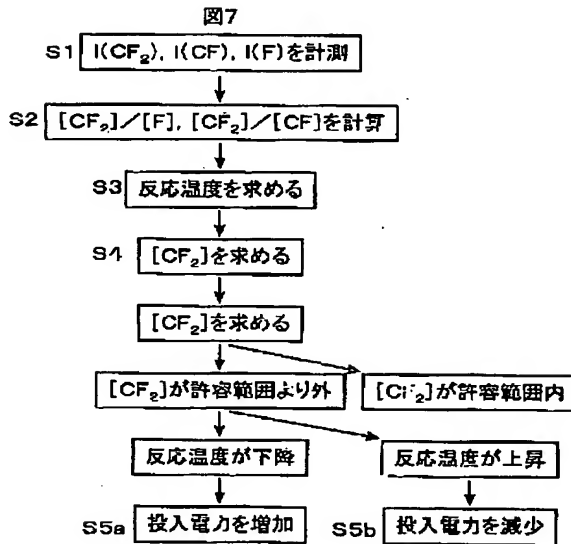
【図5】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

F ターム(参考) 4K030 BA29 FA01 HA16 JA16 KA39
 KA41 LA15
 5F004 AA16 BA04 BB18 BD04 CB02
 DA00 DA01 DA23 DA26 DB03
 5F045 EH19 GB08 GB17